

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних та самостійних робіт
з дисципліни

ТЕОРІЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ

(для студентів і магістрів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2015

Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни "Теорія та розрахунок електрообладнання рухомого складу (для студентів і магістрів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. В. Донець. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 35 с.

Укладач: О. В. Донець

Рецензент: доц. В. П. Андрійченко

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол № 2 від 12 жовтня 2010 р.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 4 |
| 1 Основні технічні характеристики тролейбусів..... | 7 |
| 2 Тягові електродвигуни..... | 10 |
| 2.1 Опір руху..... | 11 |
| 3 Електричне устаткування тролейбусів..... | 12 |
| 3.1 Контролери..... | 12 |
| 3.2 Струмоприймачі..... | 14 |
| 3.3 Штангоуловлювачі..... | 16 |
| 3.4 Блок управління штангоуловлювачів..... | 18 |
| 3.5 Кінцевий вимикач ВПК-2110..... | 18 |
| 3.6 Автоматичні вмикачі і вимикачі..... | 19 |
| 4 Моделювання двигуна постійного струму з регулюванням струму збудження..... | 21 |
| 4.1 Математичні моделі тиристорних перетворювачів..... | 26 |
| 4.2 Математичне моделювання ТП в усереднених координатах..... | 28 |
| 4.3 Забезпечення підвищення ефективності використання електрое- нергії на міському електротранспорті..... | 30 |
| 5 Нелінійні функціональні перетворювачі..... | 32 |
| СПИСОК ДЖЕРЕЛ..... | 34 |

ВСТУП

В даний час частотно-регульовані асинхронні електроприводи потужністю від одиниць до сотень кіловат досить широко застосовуються в різних галузях виробництва, житлового комунального господарства та на електричному транспорті. Сучасний етап розвитку даного виду техніки характеризується підвищенням техніко-економічних показників перетворювачів частоти за рахунок використання нових напівпровідникових приладів – запираючих GTO-тиристорів і силових IGBT-транзисторів, мікропроцесорних систем керування, прогресивних конструкторських і схемо-технічних рішень. Створюються також спеціальні асинхронні двигуни, призначені для роботи в режимі регулювання швидкості від перетворювачів частоти. Ведучі закордонні електротехнічні фірми вже освоїли виробництво транзисторних і тиристорних перетворювачів частоти для електрообладнання рухомого складу.

Основою таких перетворювачів є, як правило, трифазні автономні інвертори напруги з різного роду широтно-імпульсним керуванням.

Розробка проводиться за наступними напрямками:

- розробка GTO-тиристорів і швидковідновлюючих діодів;
- розробка IGBT-транзисторів у виді модулів;
- розробка спеціальних фільтрових конденсаторів великої одиничної місткості для вхідних ланцюгів інверторів;
- розробка нових рішень схемотехніки в частині силової схеми і системи керування перетворювача;
- розробка оптимальних алгоритмів керування і регулювання перетворювача і електроприводу;
- розробка мікропроцесорних систем керування і їх програмного забезпечення.

Створювані на базі вищеперелічених елементів і технічних рішень перетворювачі частоти і електроприводи повинні відрізнятися від перетворювачів частоти і електроприводів, що нині випускаються, більш високими ККД, коефіцієнтом потужності, кращими масо-габаритними показниками, регульовальними характеристиками, підвищеною надійністю.

Для підготовки кваліфікованих спеціалістів із спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» необхідно мати сучасні лабораторні стенди частотно-регульованих асинхронних електроприводів з інверторами напруги та тиристорних електроприводів. Це дозволить студентам при проведенні лабораторних та науково-дослідних робіт поглибити свої знання з силових перетворювачів, навчитися налагоджувати та досліджувати їх, аналізувати одержані результати в виді осцилограм, робити відповідні висновки.

Практичні заняття – це зв'язуюча ланка теорії та практики, їх ціль – поглибити та закріпити теоретичні знання, які отримують студенти на лекціях, ознайомитись із вузлами електричних машин за допомогою наявних макетів, їх конструктивними особливостями та різноманітними типами тягових та допоміжних електричних машин, а також набути навички експлуатації, розрахунку, проектування.

Досягнення цієї мети визначається підготовкою робочих місць та організацією проведення практичних робіт.

Робочими місцями для проведення практичних робіт є спеціальні макети, що містять вузли та деталі електричних машин, а також макети, плакати.

Перед початком занять викладач знайомить студентів з порядком зміни робочих місць, загальною організацією проведення та оформлення робіт, основними правилами техніки безпеки. Особлива увага звертається на підготовку студентів до занять, перевірку їх знань принципових схем, які вони будуть досліджувати. Студенти повинні дома готуватися до практичної роботи, уявити мету та задачу її проведення, ознайомитися з рекомендованою літературою.

В заключній частині виконання практичних робіт студенти оформлюють звітну частину, який містить логічно оформлені результати проведеного практичного завдання.

Тривалість практичного завдання – 2 години.

1 ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОЛЕЙБУСІВ

Тролейбуси сімейства ЗІУ складові насьогодні приблизно п'ятдесят відсотків всього тролейбусного парку м. Харкова. Тролейбуси даної серії володіють високими ходовими характеристиками (таблиця 1) і добрими показниками плавності ходу за рахунок застосування в системі підресорювання пружних пневматичних елементів, а також використання економічних електронних систем управління тяговим електроприводом (ЗІУ-683 і ЗІУ-684).

Таблиця 1 – Основні технічні дані тролейбусів ЗІУ

| Параметри | ЗІУ-682Би | ЗІУ-682У | ЗІУ-682В1 | ТРОЛЗА 52642 | ЗІУ-683Би | ЗІУ-682Грам | ЗІУ-682Г1 |
|--|-----------|----------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| Число місць для сидіння | 30 | 30 | 30 | 27 | 46 | 27 | 27 |
| Місткість максимальна, пас. | 126 | 114 | 114 | 116 | 162 | 114 | 118 |
| Маса спорядженого тролейбуса, кг | 10 050 | 10 244 | 10 622 | 11 537 | 15350 | 10 100 | 1 400 |
| Повна конструктивна маса, кг | 18 940 | 17 938 | 18 449 | 20 585 | 26 440 | 18 199 | 19 500 |
| Довжина, мм | 1 900 | 11 709 | 11 962 | 11 709 | 17 447 | 11 962 | 11 962 |
| Ширина, мм | 2500 | 2512 | 2512 | 2514 | 2512 | 2512 | 2512 |
| Висота (без навантаження) з опущеними токоприймачами, мм | 3 347 | 3 252 | 3 252 | 3 350 | 3 262 | 3 252 | 3 252 |
| Задній свес, мм | 3402 | 3592 | 3592 | — | 2581 | 3592 | 3592 |
| Передній свес, мм | 2282 | 2345 | 2345 | — | 2345 | 2345 | 2345 |
| База тролейбуса, мм | 6025 | 6025 | 6025 | 6025 | 6341 | 6025 | 6025 |
| Потужність тягового електродвигуна, кВт | — | ПО | — | — | 170 | 125 | 185 |
| Система управління | РКСУ | РКСУ | РКСУ | РСУ | ПКСУ | РКСУ | РКСУ |
| Максимальна швидкість, км/ч | — | 55 | — | — | | | |
| Система автономного ходу | Немає | Немає | Немає | Немає | Немає | Немає | Є |

Йде інтенсивний знос парку машин (рис. 1) і без належного матеріально-технічного забезпечення вижити підприємствам міського електричного транспорту дуже важко.



Рисунок 1 – Ремонт зношеного тролейбуса ЗІУ

В кінці 2006 р. почалося оновлення парку тролейбусів, депо отримало нові машини ЗІУ-682Г-0000016-02 ВАТ «Тролейбусний завод».

Основні технічні дані і характеристики нових тролейбусів:

| | |
|---|-------|
| 1. Кількість місць для сидіння | 25 |
| 2. Пасажиromісткість, чол. | 109 |
| 3. Маса спорядженого тролейбуса, кг | 10300 |
| Примітка: маса спорядження, кг | 35 |
| 4. Габаритні розміри тролейбуса, мм: | |
| а) довжина: | |
| між переднім буфером і сходами | 11986 |
| між буфером і головою струмоприймача | 12278 |
| б) ширина | 2514 |
| в) висота | 3281 |
| 5. Швидкість руху тролейбуса, км/год, не більш: | |
| а) стала, із спорядженою масою | |
| на горизонтальній ділянці дороги | 60 |
| б) максимально допустима | 70 |
| 6. Час розгону тролейбуса із спорядженою масою | |
| з місця до швидкості 50 км/год, не більш, ніж | 26 |

Зовнішня обшивка бортів виконана суцільнотягнутим листом. Зовнішня середня панель передньої частини тролейбуса, маршрутний показчик і передній бампер виконані з склопластика.

Зварюване покриття підлоги типу «Автолін» в комплекті з клеєними облицювальними профілями ПВХ на куполах і помостах. Підніжки склопластикові.

Передня, збільшена для до отвору 1000 мм в світлу службові двері. Службові двері типу поворотного зрушення. Привід дверей пневматичний мічурінського виробництва з наявністю кнопок аварійного відкриття дверей зовні і зсередини тролейбуса, з пристроєм, що запобігає затисканню пасажирів при закриванні дверей.

На панелі управління в кабіні є додаткова кнопка одночасного відкриття дверей. Стулки дверей електрично ізолювані від кузова.

Місце водія відокремлене від пасажирського салону перегородкою з двома водія, що відкриваються на роликах уздовж перегородки. Права частина перегородки також має значну частину скління.

За лівою частиною перегородки, що знаходиться за спиною водія, виконаний відсік для розміщення апаратів електроустаткування.

Кузов тролейбуса ЗІУ-682Г-016-02 в основному аналогічний кузову тролейбуса ЗІУ-682Г-016-01, проте має наступні відмінності:

- посилений каркас бортів і даху у зв'язку з перенесенням більшої частини тягового комплексу електроустаткування з підпільної частини на дах;
- допрацьований дах під установку устаткування;
- анульований передній даховий вентиляційний люк;
- допрацьована ліва боковина у зв'язку із збільшенням відсіку за спиною водія;
- допрацьовані боковини під установку дверей типу поворотного зрушення;
- допрацьована підстава у зв'язку з перенесенням ряду електроапаратів, установкою нових апаратів і склопластикових підніжок;
- виконаний відсік за спиною водія для розміщення ряду електроапаратів;
- допрацьована передня секція із-за перенесення контакторної панелі і установки склопластикових панелей зовнішньої обшивки і маршрутного показника.

На даху тролейбуса встановлені технологічні доріжки для переміщення обслуговуючого персоналу.

Бортові люки (окрім люків в районі пружних пневмоелементів підвіски провідної осі) виконані з використанням гумового профілю як петля.

На тролейбусі здійснений підвищений антикорозійний захист кузова шляхом застосування струмопровідних ґрунтів, фосфатного захисного покриття, а також додаткової обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь труб підстави, бортів, передньої і задньої секцій захисним покриттям «DINITROL-4941» фірми «DINOL» SAB. Ряд місць кузова герметизується матеріалами «DINITROL-3641»

Забарвлення кузова проводиться фарбою фірми SIKKENS.

Основна відмітна особливість електроустаткування тролейбуса полягає в тому, що велика частина тягового комплексу електроустаткування винесена з підпільного простору на дах.

Як джерело живлення низьковольтної системи замість допоміжного електродвигуна з генератором застосований статичний перетворювач, також встановлений на даху тролейбуса.

Здійснено блокування ходу тролейбуса при відкритих дверях.

2 Тягові електродвигуни

На вітчизняних тролейбусах застосовуються тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму послідовного і змішаного збудження.

Основними частинами ТЕД (рис. 2) є: остов (станина) з чотирма головними і чотирма додатковими полюсами, якір (ротор), колектор, щіткотримачі, підшипникові щити з підшипниками кочення. ТЕД, вживані на тролейбусах, виконуються з самовентиляцією. Вентилятор закріплений на валу якоря з боку, протилежного колектору. Вхід повітря здійснюється з боку колектора.

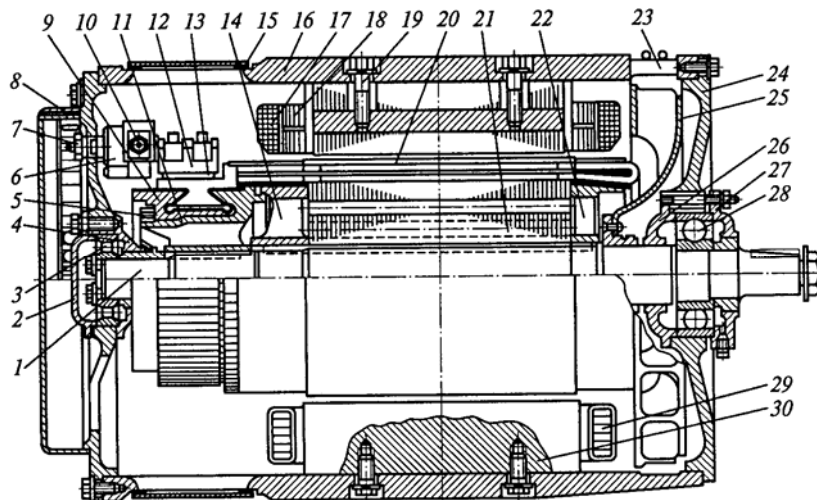


Рисунок 2 – Подовжній розріз тягового двигуна ДК-210А-3:

- 1 – вал якоря; 2, 4, 26, 27 – підшипникові кришки; 3 – роликовий підшипник;
- 5 – кільцева гайка; 6 – кронштейн щіткотримача; 7 – вентиляційний патрубок;
- 8, 24 – підшипникові щити; 9 – нажимна шайба; 10 – накладка;
- 11 – колекторна втулка; 12 – обойми щіткотримача; 13 – колекторна пластина;
- 14, 22 – нажинні шайби; 15 – кришки люка; 16 – остову; 17, 18 – котушок головних полюсів; 19 – шпилька; 20 – обмотки якоря; 21 – пакет сердечника;
- 23 – вентиляційні вікна; 25 – вентилятор; 28 – кульковий підшипник;
- 29 – котушка додаткового полюса; 30 – сердечник додаткового полюса

Остов ТЕД циліндрової форми, виготовлений із сталі з високою магнітною проникністю і виконує роль магнітопровода. Для огляду колектора і щіткотримачів в остові передбачено два люки, закритих кришками із замками.

Головні полюси служать для створення магнітного поля ТЕД. На сердечниках головних полюсів, зібраних з окремих сталевих листів, розміщені обмотки послідовного і паралельного збудження.

Додаткові полюсискладаються із сталевого сердечника і обмотки, служать для поліпшення комутації ТЕД, тобто для зменшення іскріння під щітками.

Якір складається з валу, виготовленого, як правило, із сталі 45, сердечника, набраного із сталевих листів, в пази якого укладаються обмотки.

Колектор ТЕД арочного типу, на сталевій підставі. Він складається з мідних клиноподібних колекторних пластин, у верхню частину яких упаяні або вварені кінці секцій обмоток якоря.

Чотири щіткотримачі укріплено на підшипниковому щиті за допомогою пресованих пластмасових ізоляторів. Вони мають пристрій для регулювання зусилля натиснення пальця на щітку.

З боку колектора якір спирається на роликовий підшипник, а з протилежною – на кульковий. У підшипники закладається жирове мастило 1-13 або УНІОЛ-1.

Не дивлячись на ряд конструктивних і технологічних особливостей, ТЕД різних тролейбусів, в основному, схожі між собою.

1.2.1 Опір руху

Опір руху підрозділяють на основний і додатковий. У основний (W_0) входять всі опори, що діють на тролейбус на прямій горизонтальній ділянці шляху, а саме:

внутрішній опір руху тролейбуса (обумовлене тертям зв'язаних елементів конструкції);

опір, викликаний взаємодією коліс тролейбуса і дорожнього покриття (нерівності доріг, тертя шин об дорогу, пружний прогин дорожнього покриття, деформація шин);

опір повітряного середовища.

Додатковий опір руху тролейбус випробовує на спусках (W_i) і поворотах (W_n).

Повний опір руху W , що впливає на тролейбус при русі по дорозі з будь-яким профілем (горизонтальні ділянки, підйоми, спуски, повороти), визначається як сума всіх опорів, що становлять, руху:

$$W = W_0 + W_i + W_n. \quad (1.1)$$

На подолання опору руху витрачається значна частина роботи, що здійснюється тяговим електродвигуном (ТЕД). Чим більше основний опір руху, тим більше кількість електроенергії, споживаною ТЕД з контактної мережі. Величина основного опору руху тролейбуса визначається його технічним станом і станом дорожнього покриття. Істотний вплив на величину опору руху роблять полягання сполучень в механічному устаткуванні тролейбуса і точність регулювання гальмівної системи.

Рух тролейбуса здійснюється під дією сили тяги, що розвивається тяговим електродвигуном і передавальну тяговою передачею провідним колесам. Величину сили тяги водій тролейбуса може змінювати відповідно умовам руху. Силу тяги, ТЕД тролейбуса, що розвивається, визначають по формулі

$$F = \frac{2M\mu\eta}{D}, \quad (1.2)$$

де M — момент, що обертає, на валу якоря, Нм;

μ — передавальне число редуктора;

η — коефіцієнт корисної дії (ККД) тягової передачі, рівний 0,9...0,96;

D — діаметр колеса, м.

Момент M , що обертає, визначають по формулі

$$M = \frac{P\pi n}{30}, \quad (1.3)$$

де P — потужність електродвигуна, Вт;

n — частота (швидкість) обертання якоря, об/хв.

3 Електричне устаткування тролейбусів

3.1 Контроллери

На тролейбусах ЗІУ встановлено два контроллери: контроллер управління і груповий реостатний контроллер.

Конструкція контроллера управління типу КВП-22Б для тролейбуса ЗІУ-682В приведена на рисунку 3. На тролейбусі ЗІУ-682В1 встановлений контроллер управління КВП-34, що має пристрій, аналогічне КВП-22Б.

Контроллер управління (рис. 3, а) задає режим роботи контакторам і груповому реостатному контроллеру і є електричним груповим апаратом кулачкового типу з педальним управлінням. Він складається з рами 2, на якій закріплені: контроллер ходу, реверсор, гальмівний контролер і механічне блокування.

Контроллер ходу (рис. 3, б) призначений для управління пуском тролейбуса і включає кулачковий барабан 4, що складається із сталевго валу 23 квад-

ратні перетини і ізоляційних кулачкових шайб 5, кулачкових елементів 6 і педального приводу.

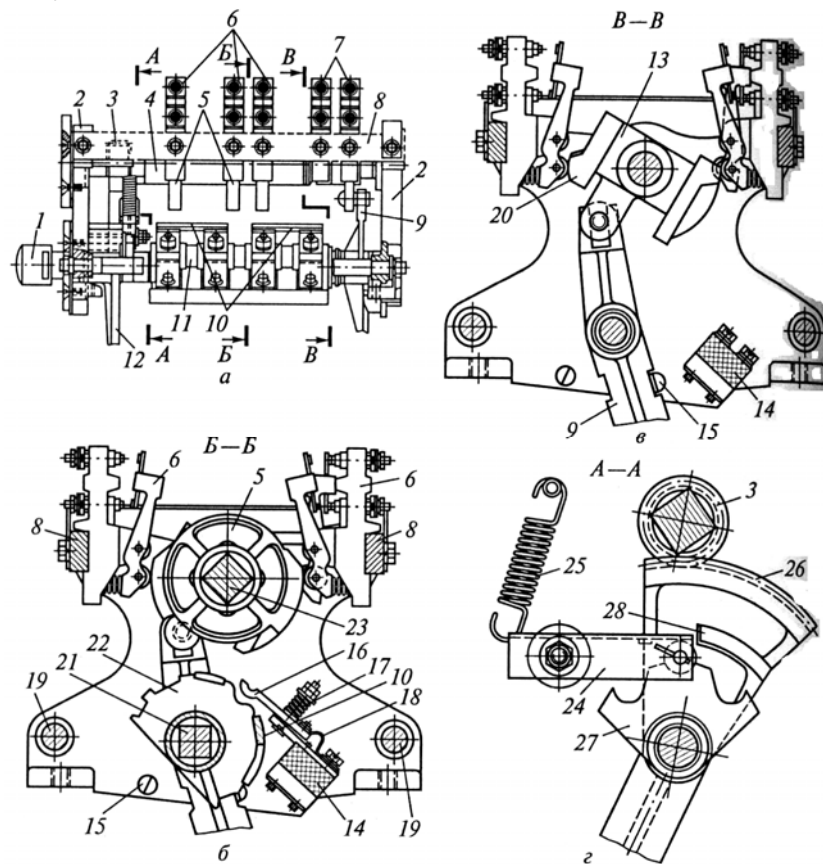


Рисунок 3 – Контроллер управління КВП-22Б:

а – загальний вигляд; б – контроллер ходу і реверсор; в – гальмівний контроллер; г – механічне блокування; 1 – головки на реверсора; 2 – рама; 3 – шестерня; 4 – кулачковий барабан; 5 – ізоляційні кулачкові шайби; 6, 7 – кулачкові елементи; 8 – сталева рейка; 9 – важіль; 10 – контактний сегмент; 11 – барабан реверсора; 12 – важіль зубчатого сектора; 13 – гальмівний барабан; 14 – пластмасова рейка; 15 – прилипнув; 16 – контактні пальці; 17 – притискна пружина; 18 – шунт; 19 – шпилька; 20 – кулачок; 21 – ліг реверсора; 22 – сегментодержатель; 23 – вал; 24 – фіксатор; 25 – пружина фіксатора; 26 – зубчатий сектор; 27 – храповик; 28 – упор зубчатого сектора

Реверсор (рис. 3, б), служить для зміни напрямку обертання якоря ТЕД, тобто для зміни напрямку руху тролейбуса. За допомогою реверсивного валу змінюється напрям струму в якорі ТЕД і обмотках додаткових полюсів, внаслідок чого змінюється напрям обертання якоря. Реверсивним барабаном є вал 21, на квадратному перетині якого розташовані сегментодержатели 22, виконані у вигляді чотирьох ізоляційних шайб, в пазах яких гвинтами укріплено п'ять мідних сегментів 10.

Гальмівний контроллер (рис. 3, в) задає гальмівний режим. Він складається з гальмівного барабана 13 з укріпленими на нім куркульками 20 з ізоляційного матеріалу і кулачкових елементів 7. У контроллерах ходу і гальмування

застосовують кулачкові елементи типу КЕ-42. Гальмівний барабан 13 обертається на циліндровій частині валу контроллера ходу і приводиться в дію гальмівною педаллю, пов'язаною з важелем 9.

До пластмасової рейки 14 каркаса кріпляться чотири утримувачі контактних пальців 16 шунтами 18 з мідної стрічки і притискними пружинами 17. Реверсивний барабан має три фіксовані позиції: «Вперед», «О», «Назад».

Вал реверсивного пристрою повертається знімною рукоятки. Барабан контроллера ходу і реверсивний барабан заблоковані механічним блокуванням (рис. 3, г) так, що барабан контроллера ходу не можна перевести в пускове положення, якщо реверсивний барабан не встановлений в положення «Вперед» або «Назад». Для цього на валу реверсивного барабана є храповик 27, який в нульовому положенні фіксатора 24 перешкоджає обертанню барабана контроллера ходу. Западини храповика, відповідні робочому положенню реверсивного барабана, глибші в порівнянні із западиною, відповідною нульовому положенню, тому фіксатор 24 опускається нижче за упор зубчатого сектора 28, і барабан контроллера ходу може обертатися. Реверсивний барабан можна перевести з робочого положення в положення «Стоп» тільки в тому випадку, якщо барабан контроллера ходу зупинений на нульовій позиції.

3.2 Струмоприймачі

Ці апарати призначені для передачі електроенергії від тягових перетворювальних підстанцій через контактні дроти до електричного устаткування, встановленого на тролейбусі, як на стоянці, так і під час руху.

Всі тролейбуси ЗІУ обладнані струмоприймачами РТ-6И (рис. 4).

Струмоприймач складається з наступних основних частин: підстави, штангодержателя з пружинами, штанги і контактної головки.

Підстава складається із сталевих опор 1 і корпуси 2, що обертається на двох конічних підшипниках 40, 44 і закріпленого на штирі гайкою 43.

Виступ корпусу 13, упираючись в прилив 14 на плиті підстави, обмежує поворот корпусу на кут 110° в обидві сторони від подовжньої осі тролейбуса. Корпус зверху закритий кришкою 42, знизу — сталевою шайбою ущільнювача 39.

Штангодержатель має вилку 12, яка на двох дворядних підшипниках 19, 22 закріплена на валику 21 нижнього приливу. Підшипники вилки закриті кришками 20. У розрізну частину вилки вставлена труба 10 з напресованим на неї утримувачем штанги 30. Ця труба кріпиться стяжними болтами 11. Необхідне натиснення головки струмоприймача на контактний дріт створюють дві пружини 28, верхні кінці яких закріплені на валику 29. Шайби 32 і шплінти утримують пружини від зіскока з валика. Натягнення пружин регулюється тягою 37, що мають праве і ліве різьблення. Одним кінцем тяга угвинчується в корпус

шарніра 16, укріпленого на валику 15 верхнього приливу, а іншим — в гвинтову пробку 27 пружин 28.

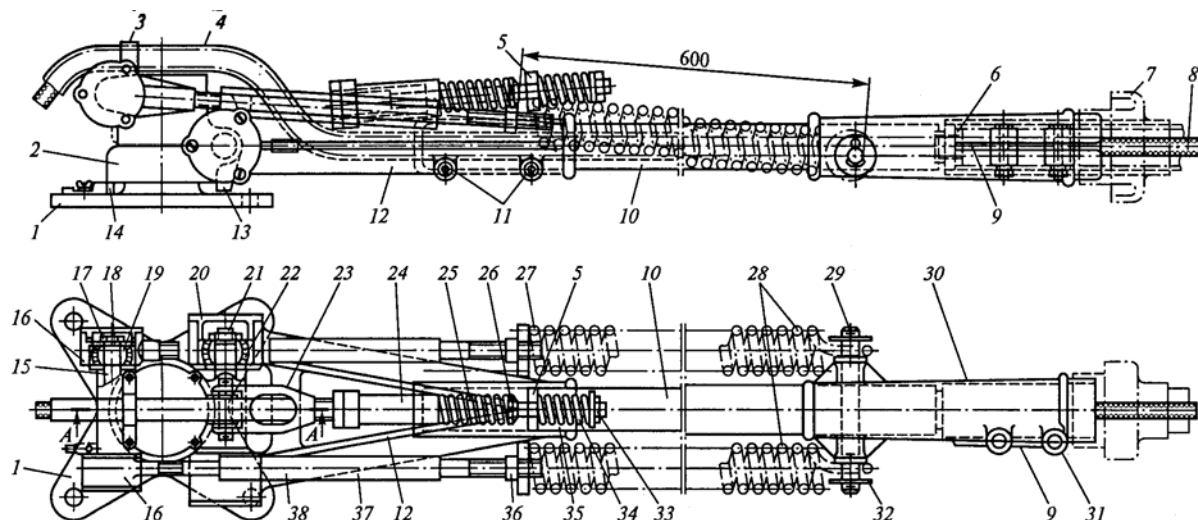


Рисунок 4 – Підстава струмоприймача і штангоутримувач:

1 – опора; 2 – корпус; 3 – скоба; 4 – гумовий шланг; 5 – виступ вилки; 6 – бакелітовий ізолятор; 7 – гумовий ізолятор; 8 – токоведучий дріт; 9 – гумове ущільнення; 10 – труба; 11, 31 – стяжні болти; 12 – вилка штангоутримувача; 13 – виступ корпусу; 14 – прилипнув; 15 – валик верхнього приливу; 16 – корпусу шарніра; 17, 43 – гайки; 18 – кришка корпусу шарніра; 19, 22 – дворядні підшипники; 20, 42 – кришки; 21 – валик нижнього приливу; 23 – вилка пружинного буфера; 24, 33 – регулювальні гайки; 25, 27, 34 – циліндрові пружини; 26, 35 – сферичні шайби; 28 – пружини; 29, 38 – валики; 30 – утримувач штанги; 32 – шайба; 36 – контргайка; 37 – тяга; 39 – шайба ущільнювача; 40, 44 – конічні підшипники; 41 – прокладка; 45 – стопорний болт

Для обмеження підйому і опускання головки струмоприймача при її сході з контактного дроту передбачений двосторонній пружинний буфер. Його вилка 23 валиком 38 шарнірно сполучена з корпусом підстави. Хвостовик вилки проходить через отвір в приливі штангоутримувача. По обидві сторони від приливу на хвостовику розташовано два буфери, кожен з яких складається з регулювальних гайок 24 і 33, циліндрових пружин 25 і 34, сферичних шайб 26 і 35. Лівою гайкою 24 регулюють максимальну висоту підйому головки струмоприймача (7,2м). Мінімальну висоту від полотна дороги до головки струмоприймача (2,5м) встановлюють правою регулювальною гайкою 33.

Штанга у вигляді безшовної труби виготовлена з конструкційної легованої сталі. Вона закріплена в утримувачі двома болтами 31, що стягують розрізну частину утримувача, і ізольована від нього бакелітовим ізолятором 6. Захист штанги від вологи здійснюється гумовим ізолятором 7, закріпленим на штанзі хомутом; у розрізній частині – гумовим ущільненням 9. На верхній кінець шта-

нги навернена ізоляційна втулка, на якій закріплені сталеві розрізна втулка і утримувач (черевик) контактної головки.

Дріт, прокладений усередині штанги, одним кінцем сполучений з котушкою радіореактора, іншим кінцем – із сталеву розрізною втулкою 3.

Струмоприймач має три рівні ізоляції. Перший рівень відокремлює черевик від штанги паперово-бакелітовою трубкою і гумовою втулкою, другою, – штангу від штангоутримувача за допомогою бакелітової труби і третій – підстава від корпусу тролейбуса за допомогою фарфорових ізоляторів.

3.3 Штангоуловлювачі

Ці пристрої служать для захисту контактної мережі і головок струмоприймачів від пошкоджень при сході останніх з контактної дроти.

На тролейбусах ЗІУ штатними є електромеханічні штангоуловлювачі.

Технічні дані електромеханічного штангоуловлювача для тролейбусів ЗІУ наступні: напруга – 24В; струм двигуна – 140...210А; відстань від даху до штанги, при якому відключається штангоуловлювач, – 600 ± 50 мм.

Основними вузлами головного механізму штангоуловителя є підстава, гальмо, інерційний механізм, барабан з канатом і електродвигун.

На валу барабана штангоуловителя головного механізму, сполученого з штангою канатом, встановлений інерційний механізм (вмикач), замикаючий свої контакти при ривку за канат на короткий період часу.

Принципова електрична схема штангоуловлювача тролейбусів ЗІУ приведена на рисунку 5.

При замиканні інерційного вмикача подається потенціал на базу транзистора Т1 (Т2), який відкривається, якщо замкнений контакт струмового реле Р5. Внаслідок цього збуджується котушка контактора Р1 (Р2), він включається і своїм блок-контактом шунтує інерційний вмикач Кн1 (Кн2).

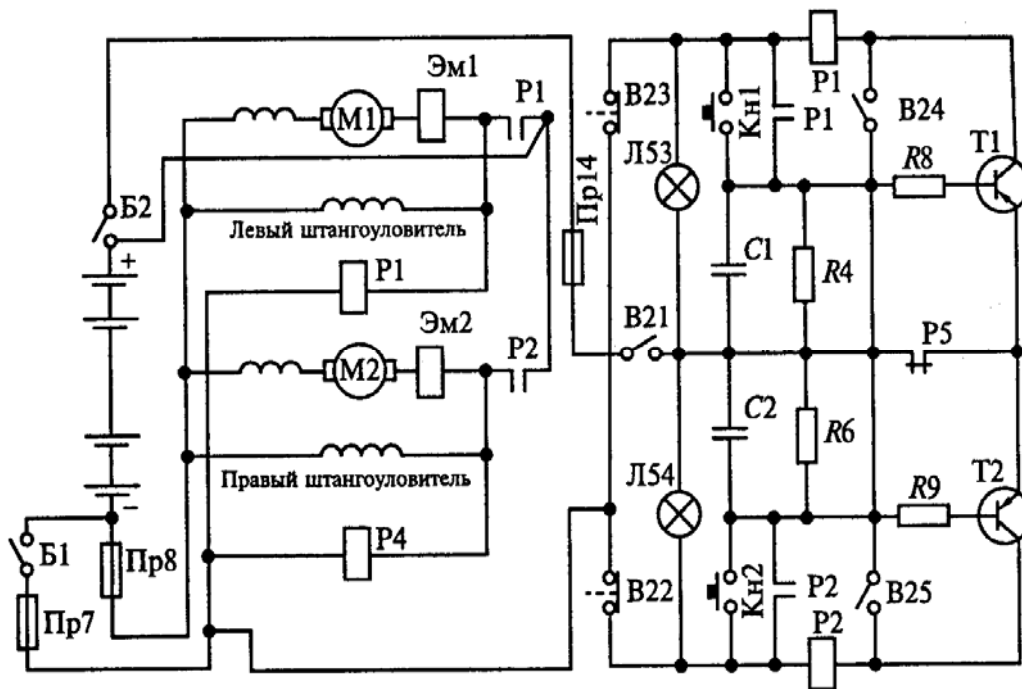


Рисунок 5 – Принципова електрична схема штангоуловлювача тролейбусів 3ІУ: *М1, М2 – електродвигуни приводу; Ем1, Ем2 – електромагніти; Р1, Р2 – котушки і контакти контакторів; Р3, Р4 – реле заспокоювачів горизонтального переміщення штанг, що зійшли з контактних проводів; Р5 – контакти струмового реле, котушка якого включена в колі двигуна постійно працюючого вентилятора; Л53, Л54 – сигнальні лампи; Кн1, Кн2 – енергійні вимикачі; В21 – вмикач штангоуловлювачей; В22, В23 – кінцеві вимикачі; В24, В25 – вимикачі примусового опускання штанг; Т1, Т2 – транзистори; Б1, Б2 – вимикачі батареї; Пр7, Пр8, Пр14 – плавкі запобіжники; А4, R6, R8, R9 – резистори; С1, С1 – конденсатори*

Для забезпечення гарантованого включення контактора Р1 (Р2) передбачен конденсатор С1 (С2), що подає негативний потенціал на базу транзистора Т1 (Т2).

При цьому включається електродвигун приводу М1 (М2), на валу якого знаходиться барабан, відбувається намотування каната і підтягання струмоприймача до даху тролейбуса. Потім кінцевий вимикач В22 (В23), розташований у підстави струмоприймача, відключає живлення електродвигуна, і рух струмоприймача припиняється. Одночасно з включенням контакту контактора Р1 (Р2) подається напруга на котушку електромагніту Ем1 (Ем2) і реле Р3 (Р4) заспокоювача, живлення якого під час руху штанги вниз здійснюють контакти контактора Р1 (Р2). Вимикач В21 при цьому включений. Для примусового опускання штанги водієм з кабіни встановлено вимикач В24 (В25), при включенні якого (якщо замкнуті В21, В22, В23) штанга знімається з контактного дроту і притягується до даху.

3.4 Блок управління штангоуловлювачів

На лівому борту кабіни водія встановлений блок управління штангоуловлювачів (рис. 6), в якому встановлені перемикач для примусового знімання штанг 5, вимикач штангоуловлювачів 4 (В21), ліхтарі контрольних ламп 6 і панель.

На панелі блоку розміщені транзистори П217б, резистори ВС-2-ЮК і МЛТ-2-1К, плавкий запобіжник 3, конденсатори К-50-12-20-50.

На задньому борту між штангоуловлювачами з боку приміщення для пасажирів розміщена панель, на якій встановлені контактори Р1 (Р2) типу ККД-110Е допрацьовані (знята дугогасильна котушка і замінена перемичкою).

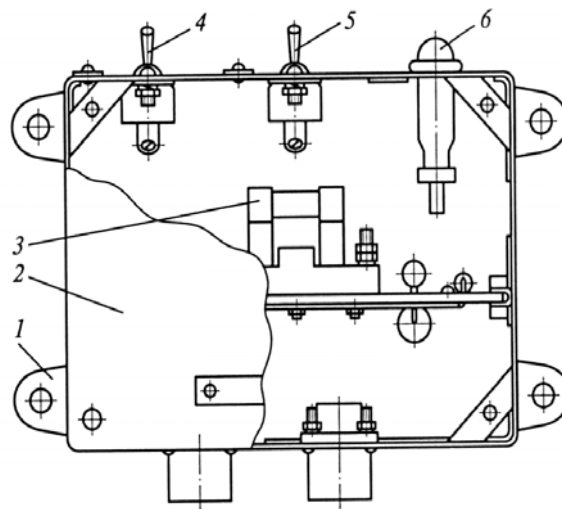


Рисунок 6 – Блок управління штангоуловлювачів:

*1 – корпус; 2 – кришки; 3 – плавкий запобіжник;
4 – вимикач штангоуловлювачів; 5 – перемикач примусового знімання штанг;
6 – ліхтарі сигнальних ламп*

3.5 Кінцевий вимикач ВПК-2110

На даху тролейбуса встановлено струмове реле, кінцеві вимикачі типу ВПК-2110 (В22, В23 на рис. 7) і заспокоювачів горизонтальних переміщень штанг (РЗ, Р4).

Контрольні лампи оповіщають про включений стан штангоуловлювачів і про положення струмоприймачів в просторі (чи встановлені вони на контактні дроти або заведені під ліру). Вони розміщені на блоці управління і на приладовій панелі водія.

Свічення ламп на блоці управління указує на включення відповідного штангоуловлювача і електричне з'єднання головок струмоприймачів з контактними проводами, а на приладовій панелі водія – на наявність напруги в контактній мережі.

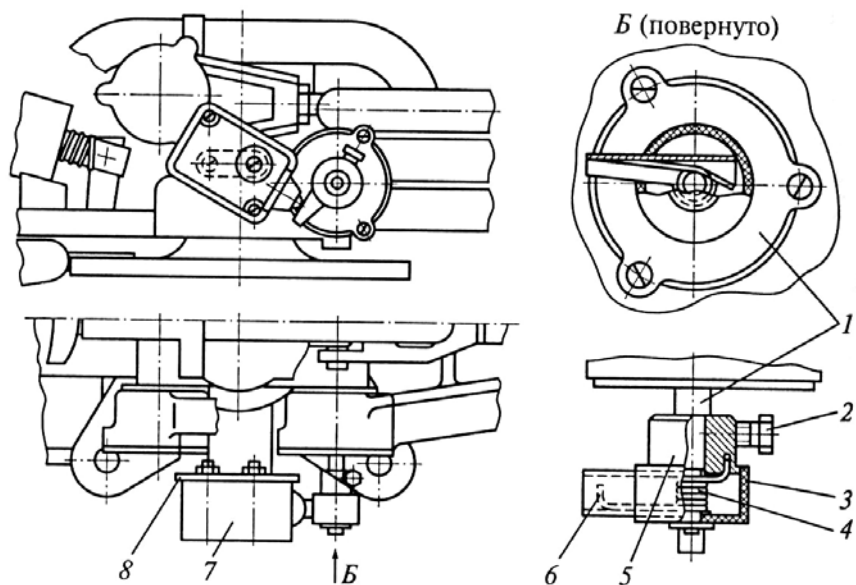


Рисунок 7 – Кінцевий вимикач ВПК-2110:

*1 – кронштейн; 2 – стопорний болт; 3 – ковпачок; 4 – пружина; 5 – втулка;
6 – важеля; 7 – вимикача; 8 – пластина кріплення вимикача*

3.6 Автоматичні вмикачі і вимикачі

Автоматичні вимикачі призначені для автоматичного відключення ТЕД від контактної мережі при перевантаженні або короткому замиканні у високовольтних колах тролейбуса. На тролейбусах сімейства ЗІУ встановлений автоматичний вимикач АВ-8А-1.

Пристрій автоматичного вимикача приведений на рис. 8. Механізм вимикача змонтований на панелі з азбоцементу і поміщений в пластмасовий корпус 3. Нерухомий контакт 6 укріплений болтом на затиску 2, до якого приєднаний один із зовнішніх дротів. Рухомий контакт 7 болтом укріплений на рухомому утримувачі 5, який віссю 4 сполучений з важелем утримувача 23. Всі деталі рухомого механізму (важіль утримувача 23 рухомі контакти, важіль ручного приводу 27, клямка 22 з пружиною і відключаюча притираюча пружина 1) укріплені на рамі контактного механізму 25. Рухомий контакт гнучким мідним шунтом 12 сполучений з максимальною котушкою 14 і дугогасительним рогом 11.

Максимальна котушка автоматичного вимикача одночасно є дугогасильною. Вона виконана з шинної міді, намотаної на ребро. Другий кінець котушки виведений на затиск 16, до якого приєднаний другий зовнішній дріт. При включенні автоматичного вимикача струм йде від затиску 2 через нерухомий 6 і рухомий 7 контактів, гнучкий шунт 12, максимальну котушку 14 і затиск 16. У разі проходження надмірного струму магнітний потік котушки, долаючи натягнення регулювальної пружини, притягає якір до сердечника. При цьому бо-

йок 17 якорів 15 виводить клямку 22 із зачеплення, контакти під дією відключаючої пружини розмикаються і розривають коло ТЕД.

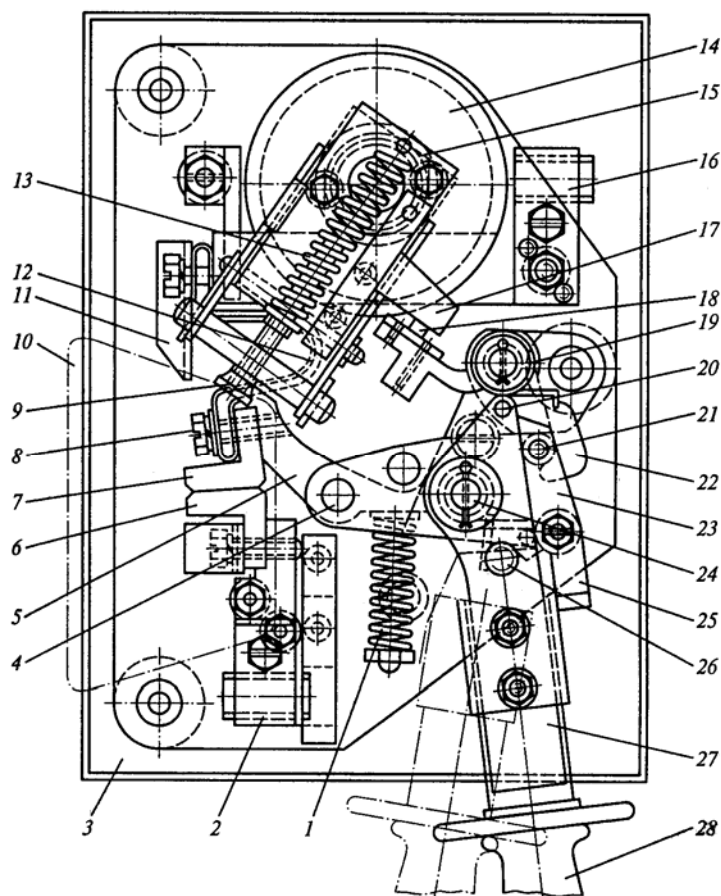


Рисунок 8 – Автоматичний вимикач АВ-8А-1:

1 – відключаюча (що притирає) пружина; 2, 16 – затисків; 3 – пластмасовий корпус; 4 – вісь; 5 – рухомий утримувач; 6 – нерухомий контакт; 7 – рухомий контакт; 8 – болт; 9 – регульовальна гайка; 10 – дугогасильна камера; 11 – дугогасильний ріг; 12 – гнучкий шунт; 13 – регульовальна пружина; 14 – максимальна котушка; 15 – якорь; 17 – бойок; 18 – хвостовика клямки; 19 – пружина клямки; 20 – виступу важеля; 21 – валик; 22 – клямка; 23 – важіль утримувача; 24 – вісь важеля ручного приводу; 25 – рама контактного механізму; 26 – шпильки важеля ручного приводу; 27 – важіль ручного приводу; 28 – ізоляційна рукоятка

Електрична дуга, що виникає між контактами у момент їх розмикання, викидається під дією дугогасної котушки в дугогасну камеру 10 і гасне в ній.

Встановлені автоматичні вимикачі на перегородці kabіни водія тролейбуса. Для включення і відключення електродвигуна вентилятора і генератора, електродвигуна компресора, паралельною обмотки збудження ТЕД (на тролейбусах ЗІУ-682В), а також кіл опалювання приміщення для пасажирів і kabіни водія використовуються вимикачі Ву22-261.

Вимикач Ву22-2б1 складається з підстави і кришки з карболіту, рухомого і нерухомого контактів і дугогасильного пристрою. При експлуатації рекомендується не затримувати рух рукоятки під час відключення апарату. Необхідно також стежити за рухомим контактом, не допускаючи того, що стосується його об стінки дугогасильної камери. Вимикачі Ву22-2б1 встановлені в кабіні водія з лівого боку.

4 Моделювання двигуна постійного струму з регулюванням струму збудження

Модель двигуна у режимі двозонного регулювання (регулювання ослабленням поля) є складнішою за попередню (рис.9).

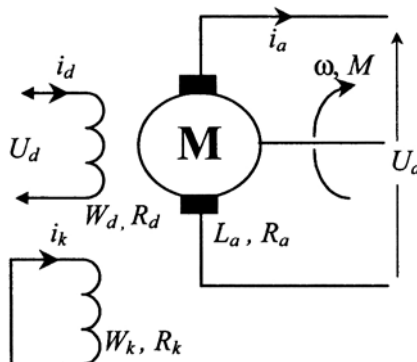


Рисунок 9 – Схема ДПС для двозонного регулювання швидкості

Приймемо такі допущення: реакцією якоря нехтуємо, а індуктивність якірного кола незмінна. У великих машинах (100 кВт і вище) помітна дія вихрових струмів, які виникають у масивних частинах магнітної системи під час зміни магнітного потоку Φ і протидіють зміні потоку полюсів. Традиційно їх дію розглядають як дію додаткової короткозамкненої фіктивної обмотки ($W_k - R_k$), яка розміщена на полюсах (див. модель кола збудження ГПС).

Запишемо систему диференціальних і алгебричних рівнянь механічної, електричної та магнітної рівноваги для такої моделі:

$$U_a = i_a R_a + k\Phi\omega + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (4.1)$$

$$M = M_c + J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (4.2)$$

$$U_d = i_d R_d + 2 p_n \xi W_d \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.3)$$

$$i_k R_k = 2 p_n \xi W_d \frac{d\Phi}{dt} \quad (4.4)$$

$$F = i_d W_d - i_k W_k \quad (4.5)$$

$$\Phi = f(F) \quad (4.6)$$

Рівняння (4.1) і (4.2) описують динаміку електромагнітних і електро-механічних процесів двигуна і розглянуті вище. Рівняння (4.3)-(4.6) описують процеси у колі збудження. У наведених вище рівняннях використано такі позначення:

Φ – корисний магнітний потік одного полюса;

P_n – кількість пар полюсів;

W_d – кількість витків одного полюса обмотки збудження;

$\xi - 1+(0.5...0.7) (\sigma-1)$ – коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта розсіювання магнітного потоку;

$\sigma - 1,12-1,18$ – коефіцієнт розсіювання, тоді $\xi =1,06-1,13$ – це означає, що є додаткове потокозчеплення з потоком, який замикається через повітря, тому $\xi > 1$;

F – сила намагнічування залежність $\Phi(F)$ нелінійна (рис.10), тому в системі рівнянь вона подана виразом (4.6).

Для реалізації цифрової моделі можна використати або лінеаризовану модель кола збудження, або нелінійну з урахуванням кривої намагнічування (див. розділ про ГПС).

Рівняння (4.1) і (4.2) описують динаміку електромеханічних процесів у якірному колі двигуна, які вже розглядалися у попередньому розділі. Рівняння (4.3) – (4.6) описують процеси в колі збудження двигуна, над якими будуть виконані перетворення, щоб отримати диференціальні рівняння, зручні для розв'язування та побудови структурної моделі.

Рівняння (4.3) перетворимо так:

$$\frac{U_d}{R_d} = i_d + \frac{2 p_n \xi W_d^2 k_\Phi}{R_d} \cdot \frac{s\Phi}{k_\Phi W_d}$$

де $k_\Phi = \Phi_n / F_n = \Phi_n / (I_{dn} W_d)$ визначають з кривої намагнічування.

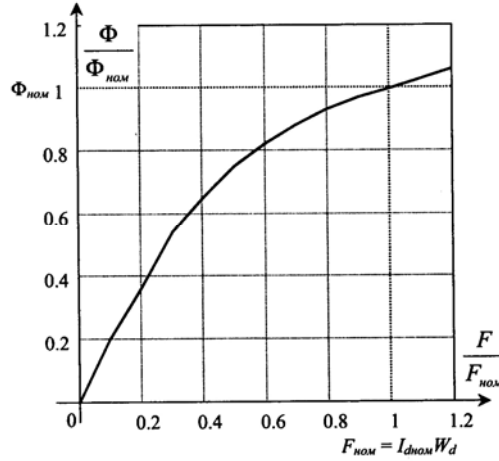


Рисунок 10 – Графік кривої намагнічування типового двигуна постійного струму

Позначимо $T_d = \frac{2p_n \xi W_d^2 k \Phi}{R_d}$ електромагнітна стала часу обмотки збудження

і в операторній формі запишемо

$$\Phi = \frac{k_\Phi W_d}{E_{d^s}} \left(\frac{U_d}{R_d} - i_d \right) \quad (4.7)$$

$$i_k = \frac{T_k s \Phi}{k_\Phi W_k} \quad (4.8)$$

де $T_k = \frac{2p_n \xi W_k^2 k \Phi}{R_k}$ стала часу фіктивної короткозамкненої обмотки.

Вираз (4.6) подамо як $\Phi = K_\Phi F$ за умови лінійності характеристики намагнічування. Тоді з рівняння (4.5) отримаємо

$$i_d = \frac{\Phi}{k_\Phi W_d} + \frac{k_k W_k}{W_d} \quad (4.9)$$

За (4.7) – (4.9) побудуємо структурну модель, яка зображена на рисунку 11.

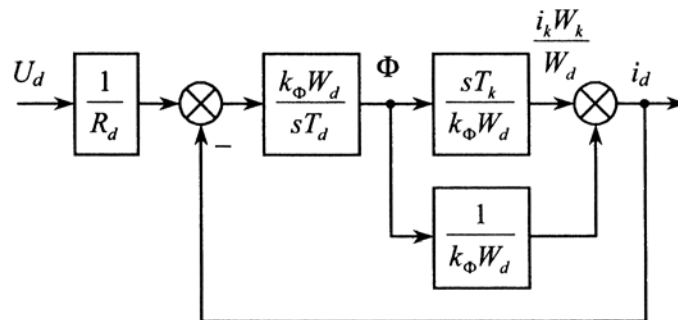


Рисунок 11 – Лінеаризована структурна схема моделі контуру збудження двигуна

Структурну модель зведемо до вигляду одноконтурної так:

$$W_{poz}(s) = \frac{k_\Phi W_d}{T_d s} \left(\frac{T_k s}{k_\Phi W_d} + \frac{1}{k_\Phi W_d} \right) = \frac{T_k s + 1}{T_d s}$$

$$W_{зам}(s) = \frac{\frac{T_k s + 1}{T_d s}}{\left(1 + \frac{T_k s + 1}{T_d s} \right)} = \frac{T_k s + 1}{(T_k + T_d)s + 1} \quad (4.10)$$

Виділимо контур $i_d(s) - \Phi(s)$ і запишемо:

$$\frac{i_d(s)}{\Phi(s)} = \frac{T_k s + 1}{k_\Phi W_d}$$

а в зворотному напрямі

$$\frac{\Phi(s)}{i_d(s)} = \frac{T_k s + 1 k_\Phi W_d}{T_k s + 1} \quad (4.11)$$

За (4.10) і (4.11) побудуємо структурну модель контуру збудження, яка зображена на рисунку 12.

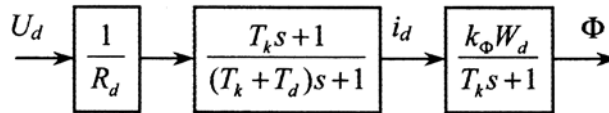


Рисунок 12 – Структурна схема моделі контуру збудження двигуна

З урахуванням рисунку 12 повна структурна модель ДПС незалежного збудження з регулюванням магнітного потоку зображена на рисунку 13. Щоб виключити операцію диференціювання, виконано нескладні структурні перетворення.

Варто зауважити, що у пропонованій на рисунку 13 структурній моделі кола збудження ДПС використано спрощений підхід до урахування вихрових струмів у станині. Для їх точнішого описання треба застосувати спосіб, ще запропонований для кола збудження генератора постійного струму.

$$\begin{aligned}
\frac{di_a}{dt} &= \frac{(U_a - k\Phi\omega) / R_a - i_a}{T_a} \\
\frac{d\omega}{dt} &= \frac{i_a k\Phi - M_c}{J} \\
u_1 &= (U_d - (u_1 + u_2)) \frac{T_k}{T_d} \\
\frac{du_2}{dt} &= \frac{U_d - (u_1 + u_2)}{T_d} \\
i_d &= (u_1 + u_2) / R_d \\
\frac{d\Phi}{dt} &= \frac{i_a W_d k_\phi - \Phi}{T_k}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Для електричних машин постійного струму з масивною станиною можна прийняти $T_k = (0,2-0,3)T_d$. Значення електромагнітної сталої часу обмотки збудження обчислено за виразом $T_d = 2p_n \xi W_d k_\phi / R_d$, де R_d – опір кола збудження двигуна.

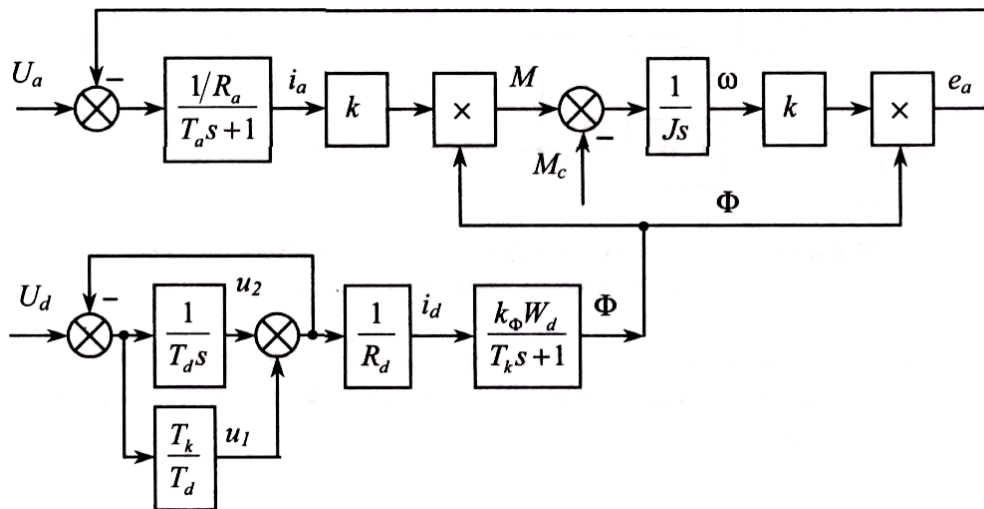


Рисунок 13 – Структурна схема моделі ДПС незалежного збудження для двозонного регулювання швидкості з урахуванням дії вихрових струмів

Якщо знехтувати дією вихрових струмів, що справедливо для машин з шихтованою станиною, то моделі значно спрощуються. Тоді $T_k = 0$ і з системи (4.12) отримаємо математичну модель:

$$\begin{aligned}\frac{di_a}{dt} &= \frac{(U_a - k\Phi\omega) / R_a - i_a}{T_a} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{i_a k\Phi - M_c}{J}\end{aligned}\quad (4.13)$$

$$\frac{di_d}{dt} = \frac{U_d / R_d - i_d}{T_d}$$

$$\Phi = i_d w_d K_\Phi$$

Цій математичній моделі відповідає структурна схема моделі, яка зображена на рисунку 14.

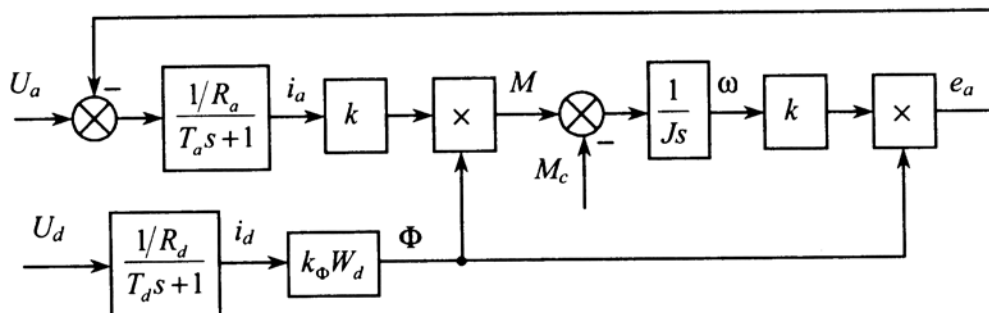


Рисунок 14 – Структурна схема моделі ДПС незалежного збудження з двозонним регулюванням швидкості без урахування дії вихрових струмів

Якщо необхідно в моделі врахувати нелінійність характеристики намагнічування, то це можна виконати аналогічно як для моделі генератора постійного струму.

4.1 Математичні моделі тиристорних перетворювачів

Тиристори та симістори – це напівпровідникові силові керовані вентиля, увімкнення яких реалізується через подання сигналу на керуючий електрод при додатній напрузі на аноді, а вимкнення (закривання) відбувається за умови зменшення анодного струму до певного мінімального значення – струму утримання. Після увімкнення сигнал керування може бути знятий. На відміну від тиристора стан транзистора у ключовому режимі визначається лише наявністю імпульсу керування в базовому колі.

Тиристорні перетворювачі складаються з двох основних складових частин: системи імпульсно-фазового керування (СІФК) та силового кола (СК) тиристорного перетворювача (ТП). Загалом тиристорний перетворювач як елемент електромеханічної системи залежно від характеру та особливостей розв'язуваної задачі може моделюватися у миттєвих чи усереднених координатах. Під час моделювання тиристорних перетворювачів найчастіше складають дві математичні моделі: для СІФК та силового кола ТП, які математично пов'язуються в загальній моделі досліджуваної системи, а також моделі навантаження.

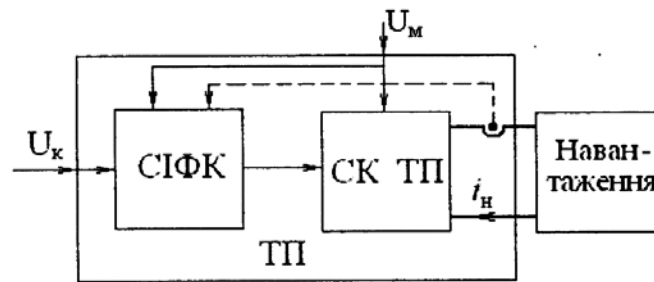


Рисунок 15 – Функціональна блок-схема тиристорного перетворювача

Отже, тиристорні перетворювачі можна моделювати на рівні миттєвих або середніх значень ЕРС. Це зумовлено характером і метою досліджень. Критерій вибору типу моделі визначається як

$$K = \frac{t_{nn}}{t_{npm}}$$

де t_{nn} – тривалість перехідного процесу;

$t_{npm} = 1/mf_1$ – тривалість періоду провідності тиристора;

m – фазність перетворювача;

f_1 – частота мережі живлення,

Тоді значення K визначають такі типи моделей:

$K < 5$ – імітаційні моделі;

$5 < K < 10$ – імпульсні моделі;

$10 < K < 30$ – нелінійні неперервні моделі;

$K > 30$ – спрощені неперервні моделі.

Тривалість перехідних процесів визначається інерційністю СК ТП і кола навантаження. Чим більше значення K , тим "грубіша" модель.

4.2 Математичне моделювання ТП в усереднених координатах

Під час моделювання режимів тиристорних перетворювачів в усереднених координатах необхідно враховувати низку чинників, що пов'язані з проходженням процесів на миттєвому рівні, які ускладнюють створення такої моделі:

- дискретний характер роботи ТП, який проявляється в тому, що вхідний сигнал керування визначає моменти відкривання вентилів;
- неповна керованість, що проявляється під час наростання чи спадання вхідного сигналу – вихідна напруга не може змінюватися швидше ніж напруга фази мережі;
- наявність пульсацій вихідної напруги.

Під час досліджень систем електроприводів постійного струму ТП часто моделюється як аперіодична ланка з передавальною функцією

$$W_{mn}(s) = \frac{E_{mn}(s)}{U_k(s)} = \frac{K_{mn}}{T_{mn}s + 1}, \quad (4.14)$$

якій відповідає таке диференціальне рівняння:

$$\frac{de_{mn}}{dt} = \frac{U_k K_{mn} - e_{mn}}{T_{mn}}, \quad (4.15)$$

де T_{mn} – еквівалентна стала часу моделі тиристорного перетворювача, що враховує чисте дискретне запізнення τ керування тиристорами (визначається фазністю т силової схеми ТП чи кількістю імпульсів, що формуються на періоді напруги) $\tau = T/m$, де T – період напруги мережі, а також стала часу самої СІФК ТП $T_{СІФК}$ та фільтра нижніх частот $T_{фнч}$, що часто вмикається на вході СІФК $T_{mn} = \tau + T_{фнч} + T_{СІФК}$. Найчастіше сталу часу моделі ТП приймають такою $T_{mn} = (0.01 - 0.015)$ с. За такого підходу імпульсний характер роботи ТП імітується моделлю аперіодичної ланки з еквівалентною сталою часу T_{mn} .

Можливий інший підхід – сталі дискретне запізнення вилучають з еквівалентної сталої часу T_{mn} і використовують варіанти моделей ТП, яким відповідають такі передавальні функції:

$$W_{mn}(s) = \frac{E_{mn}(s)}{U_k(s)} = \frac{K_{mn} \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T_{mn}s + 1}; \quad (4.16)$$

$$W_{mn}(s) = \frac{E_{mn}(s)}{U_k(s)} = K_{mn} \cdot e^{-\tau \cdot s} \quad (4.17)$$

для доволі малого значення $T_{\text{СІФК}}$ та відсутності вхідного ФНЧ

$$W_{mn}(s) = \frac{E_{mn}(s)}{U_k(s)} = \frac{K(U_k) \cdot e^{-\tau \cdot s}}{T_{mn}s + 1} \quad (4.18)$$

з урахуванням нелінійності регулювальної характеристики тиристорного перетворювача.

У разі навантаження тиристорного перетворювача на велику індуктивність (обмотку збудження) інерційністю ТП нехтують і тоді

$$W_{mn}(s) = \frac{E_{mn}(s)}{U_k(s)} = K(U_k). \quad (4.19)$$

Врахувати імпульсний характер поведінки тиристорного перетворювача також можна, використовуючи фіксований крок розв'язання замість аперіодичної ланки. У такому разі крок розв'язування вибирають залежно від пульсності $ТП$. Наприклад, для однофазної місткової схеми крок становитиме 10 мс, Такий підхід зручний для моделювання процесів з використанням Z – перетворення.

Часто з достатньою для інженерних розрахунків точністю можна вважати, що перетворювач працює на лінійній (початковій) ділянці характеристики керування, у такому разі коефіцієнт підсилення K_{mn} задають сталим. Якщо ж необхідним є врахування нелінійності характеристики керування, то з певним наближенням (без врахування обмеження кута регулювання реального $ТП$, комутаційних спадів напруги тощо), задати її можна функційними залежностями. Нелінійність характеристики керування $ТП$ і його статичний коефіцієнт передачі за лінійного сигналу розгортай СІФК в моделі подають відповідно такими залежностями:

$$E_d(U_k) = E_{d0} \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_k}{|U_{\max}|}\right), \quad (4.20)$$

$$K_{mn}(U_k) = \frac{E_d(U_k)}{U_k}, \quad (4.21)$$

де E_d – усереднене на періоді (діюче чи середньовипрямлене) значення вихідної ЕРС тиристорного перетворювача;

E_{d0} – напруга неробочого ходу ТП;

U_k – вхідний сигнал керування ТП ($|U_k| \leq |U_{\max}|$);

U_{\max} – найбільша вхідна напруга ТП (звичайно становить ± 10 В для більшості СІФК).

На рисунку 15 показано приклад характеристики керування та залежність статичного коефіцієнта тиристорного перетворювача, що розраховані за наведеними виразами (4.20) та (4.21) відповідно. Як видно з цих залежностей, ТП є нелінійною ланкою.

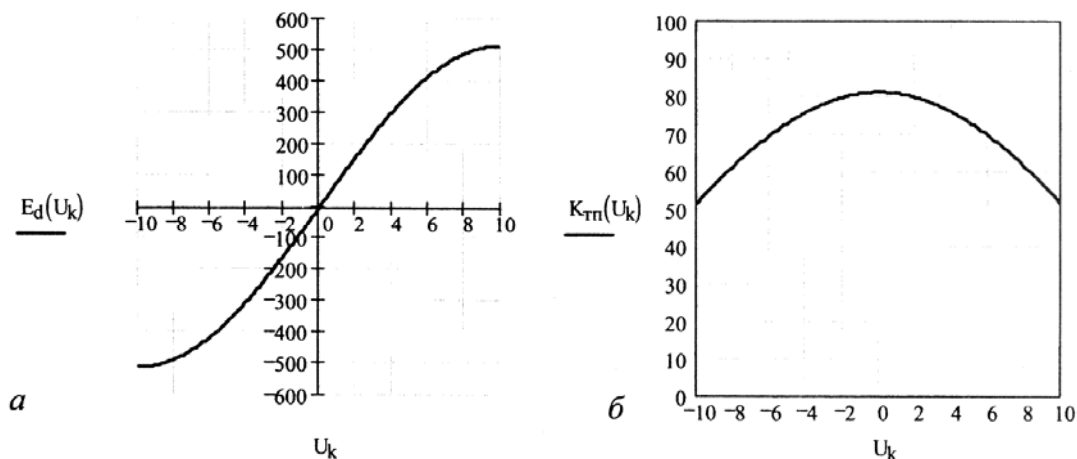


Рисунок 15 – Регулювальна характеристика (а) та залежність статичного коефіцієнта передачі від вхідного сигналу керування (б) реверсивного тиристорного перетворювача

4.3 Забезпечення підвищення ефективності використання електроенергії на міському електротранспорті

Розглядається застосування імпульсних конденсаторів надвисокої енергоємності для забезпечення підвищення ефективності використання електроенергії на міському електротранспорті

В даний час для живлення допоміжних кіл рухомого складу міського електротранспорту використовуються лужні акумуляторні батареї (АБ) як правило з номінальною напругою 24 В. Для постійної підзарядки АБ застосовують машинні або статичні перетворювачі, потужністю 2-3 кВт. Причому перетворювачі підключені до контактної мережі впродовж всього періоду роботи рухомого складу. При цьому витрата електроенергії на допоміжні потреби може складати до 10% від загального споживання електрорухомим складом [1-2].

Відомо, що постійний заряд АБ при незмінній напрузі живлення не є оптимальним і може сприяти зниженню експлуатаційної надійності батареї. Існують і більш оптимальні способи заряду АБ, але через складність конструктивного виконання вони не знайшли свого застосування на рухомому складі [3].

З появою щодо недорогих і компактних імпульсних конденсаторів надвисокої енергоємності є можливість вдосконалення системи електроживлення допоміжної електроустаткування.

Ці конденсатори є оригінальною розробкою вчених Російської Федерації.

У інших країнах їх аналогів немає. Схожі конденсатори високої енергоємності, але з набагато меншою енергією (менш ніж 0,1 кДЖ) випускаються фірмами Matsushita Ind.S.Co, Nippon El.Co (Японія). Розробки подібних конденсаторів ведуться також фірмами США і ФРН.

Імпульсні конденсатори надвисокої енергоємності (ІКЕ) по енергетичних і масогабаритних показниках займають проміжне положення між двома традиційними накопичувачами електричної енергії: електролітичними конденсаторами великої місткості і хімічними джерелами струму (аккумуляторними елементами і батареями). Ці конденсатори мають електричну місткість від одиниць до сотень фарад, перевищуючої місткість відомих конденсаторів в сотні раз і більш.

Накопичена в ІКЕ енергія: $W = C U^2/2$, де C – місткість ІКЕ; U – напруга заряду ІКЕ, досягає десятків і навіть сотень кілоджоулів.

Накопичення енергії в традиційних конденсаторах здійснюється за рахунок електричного поля в об'ємі діелектрика, розташованого між різнойменно зарядженими обкладаннями. Існують також конденсатори, в яких роль діелектрика грає поверхневий контакт матеріалів з різними електрофізичними властивостями (тип і значення провідності, енергія виходу електрона). Є декілька технологій отримання таких конденсаторів, обкладання яких є: наприклад, метал – напівпровідник, метал – сильнолегірований напівпровідник, метал - напівпровідник, що компенсується.

У основі роботи ІКЕ лежить поверхневий контакт типу метал - інертний електроліт. Як інертний електроліт використовується молекулярна рідина, що є лужним або кислотним водним розчином. Можуть бути застосовані також електроліти неводів. Останні використовуються в парі з пористими металами, що мають досить високу електронну провідність. До них відносяться дисперсний вуглець, нікель Ренея, чернь платини, активоване високопористе вугілля. Як найменший розмір пір металевого електроду обмежений значеннями (5-10) 10^{-8} см і визначається молекулярними процесами і товщиною подвійного електричного пласта.

Температурний діапазон існування молекулярних рідин складає від -100° до $+150^{\circ}$ С. Струми витоку, обумовлені фоновими окислювально-відновними процесами, досягають 10^{-7} А/Ф, що дозволяє ІКЕ зберігати енергію впродовж $10^5 - 10^6$ с. Максимальна теоретична питома енергія елемента ІКЕ без урахування об'єму конструкції може бути до 50 Дж/см³.

Розглянуті ІКЕ останнім часом набули порівняно широке поширення в різних областях промисловості, транспорту і сільського господарства. Вони випускаються Московським науково-виробничим об'єднанням (МНВО) "ЕКОНД" (м. Москва) і мають широкий діапазон характеристик: місткість від одиниць до сотень фарад, робочі напруги від 5 до 300 В. Послідовне і паралельне з'єднання модульних ІКЕ дає можливість істотним чином розширити діапазон електрич-

них характеристик. ІКЕ витримують струми розряду аж до струмів короткого замикання, не вимагають обслуговування в процесі експлуатації, розрахунковий термін служби складає 15-25 років, а конструкція не містить токсичних, горючих або вибухонебезпечних матеріалів. Внутрішній опір ІКЕ лежить в межах від одиниць до декількох десятків Ом [4].

На рухомому складі електричного транспорту ІКЕ, в з'єднанні з первинним джерелом живлення, можуть використовуватися в буферних і накопичувальних системах для виконання наступних основних задач: електроживлення могутніх імпульсних споживачів; поповнення енергії при заряді від первинного джерела в паузах між імпульсами споживання енергії; забезпечення безперебійного живлення при коротких перервах і "провалах" напруги первинного джерела.

Очевидно, що якщо імпульсна потужність нижча середньої потужності, споживаній пристроями, то застосування ІКЕ дає можливість істотним чином понизити потужність, вартість і розміри первинних джерел живлення.

Імпульсні конденсатори надвисокої енергоємності по своїх характеристиках найбільшою мірою відповідають вимогам по густині енергії і потужності, що пред'являється до накопичувачів електроенергії для транспортних засобів.

Структурна схема роботи допоміжних кіл живлення рухомого складу з використанням ІКЕ представлена на рисунку. В порівнянні з існуючими вона має наступні переваги:

а) статичний перетворювач для заряду АБ не споживає електроенергію з контактної мережі, а забирає її від гальмівних резисторів в період реостатного гальмування; раціональніше використання енергії реостатного гальмування електрорухомим складом;

б) при роботі електрорухомого складу в режимах тяги і вибігу, заряд АБ і живлення допоміжних кіл електрорухомого складу здійснюється від ІКЕ;

в) забезпечується зниження споживання електроенергії рухомим складом в експлуатації до 10%.

5 Нелінійні функціональні перетворювачі

Функціональні перетворювачі призначені для реалізації нелінійних залежностей між різними фізичними величинами. В електроприводах такою величиною найчастіше буває напруга. Функціональні перетворювачі застосовуються також у системах автоматичного керування для обмеження регульованих параметрів, створення адаптивних регуляторів, компенсації природних нелінійностей елементів електропривода, виконання нелінійних алгебричних дій над змінними та ін.

Найпростіші й найпоширеніші види функціональних перетворювачів – обмежувачі напруги з постійним або регульованим рівнем обмеження. Приклади схем обмежувачів напруги ОП з постійним рівнем обмеження, а також відповідні характеристики “вхід-вихід” наведено на рисунках 16, 17 відповідно.

Схема обмежувача (рис. 16, а), що складається з діодів VD1, VD2 і резистора R, застосовується для одержання на виході ОП фіксованих рівнів напруги (менших від $+U_{\text{нас}}$), що відповідають логічним нулю та одиниці. Якщо вихідна напруга ОП дорівнює $+U_{\text{нас}}$, то за умови, що $U_{\text{нас}} > U_{\text{ж}}$, діод VD2 буде закритим, а діод VD1 – відкритим. У цьому разі напруга на виході обмежувача $U_{\text{вих}} = U_{\text{ж}} + U_{\text{VD}}$, де U_{VD} – спад напруги на відкритому діоді. Якщо вихідна напруга ОП дорівнює $-U_{\text{нас}}$, то діод VD1 буде закритим, а діод VD2 – відкритим, і напруга на виході обмежувача $U_{\text{вих}} = 0 - U_{\text{VD}} = -U_{\text{VD}}$.

Резистор R призначений для обмеження вихідного струму ОП. Величина $U_{\text{ж}}$ вибирається близько до необхідного значення напруги логічної одиниці.

Обмежувач напруги (рис. 17, а) забезпечує пропорційність між вхідною та вихідною напругами ОП до досягнення вихідною напругою порогу обмеження (рис. 17, б). Після цього вихідна напруга залишається незмінною, незважаючи на подальше зростання вхідної напруги. Пороги обмеження дорівнюють напругам відкриття стабілітронів VD1 і VD2. Схема рисунку 17, а широко застосовується для обмеження вихідної напруги типових регуляторів.

Приклад схеми обмежувачів напруги з плавно регульованим рівнем обмеження та їхніх характеристик “вхід-вихід” наведено на рисунках 18, 19 відповідно. Схема рисунку 18, а простіша за виконанням, оскільки не потребує додаткового джерела живлення. Її суттєвим недоліком є залежність коефіцієнта передачі ОП від рівня обмеження вихідної напруги (рис. 18, б).

Такого недоліку не має схема рисунку 19, а, в якій передбачено можливість окремого регулювання порогів обмеження вихідної напруги у від’ємній та додатній зонах. Додаткове джерело живлення в цій схемі слугує для створення замикальних потенціалів на діодах VD1 і VD2.

Є також інші, більш складні схеми обмеження вихідної напруги ОП, приклад так звані схеми залежного обмеження, в яких регулювання моменту відкриття та закриття діодів або стабілітронів у колі зворотного зв’язку ОП здійснюється за допомогою електронних пристроїв.

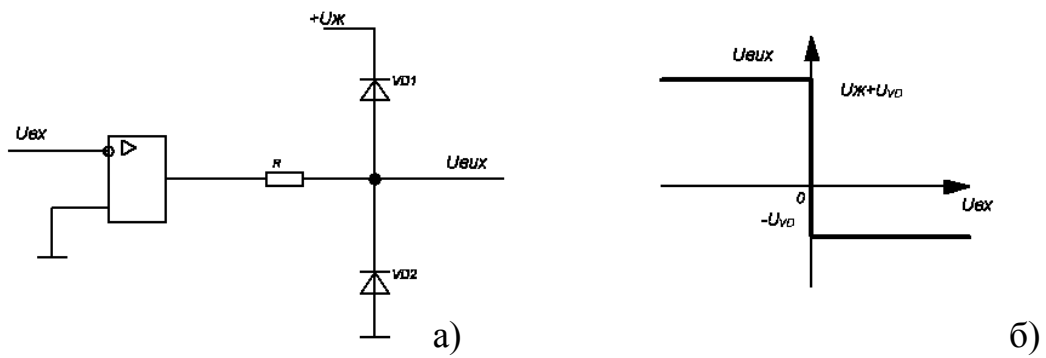


Рисунок 16 – Схема обмежувача напруги ОП з постійним рівнем обмеження (а), характеристика «вхід – вихід» (б)

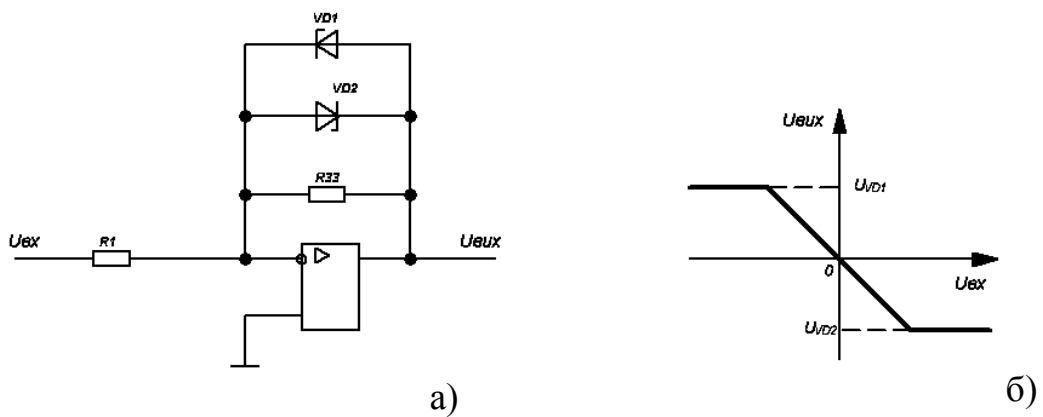


Рисунок 17 – Схема обмежувача напруги ОП з постійним рівнем обмеження (а), характеристика «вхід – вихід» (б)

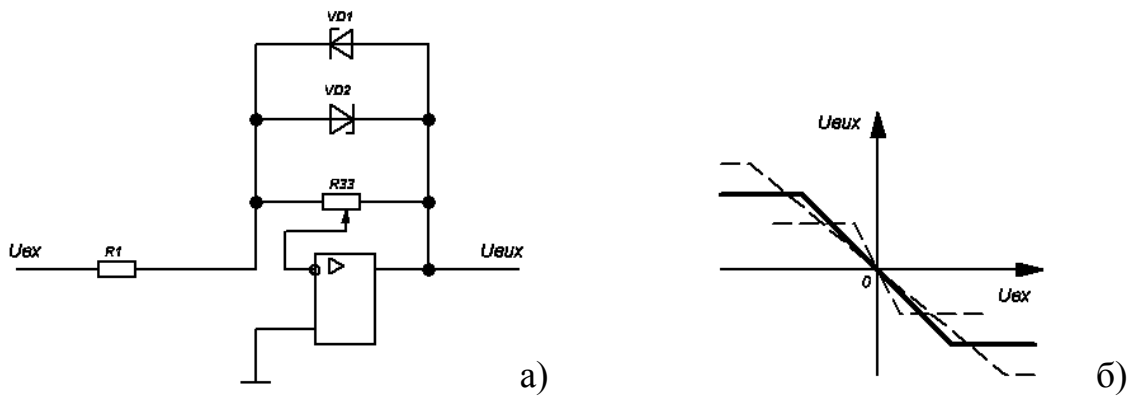


Рисунок 18 – Схема обмежувача напруги ОП з плавно регульованим рівнем обмеження (а), характеристика «вхід – вихід» (б)

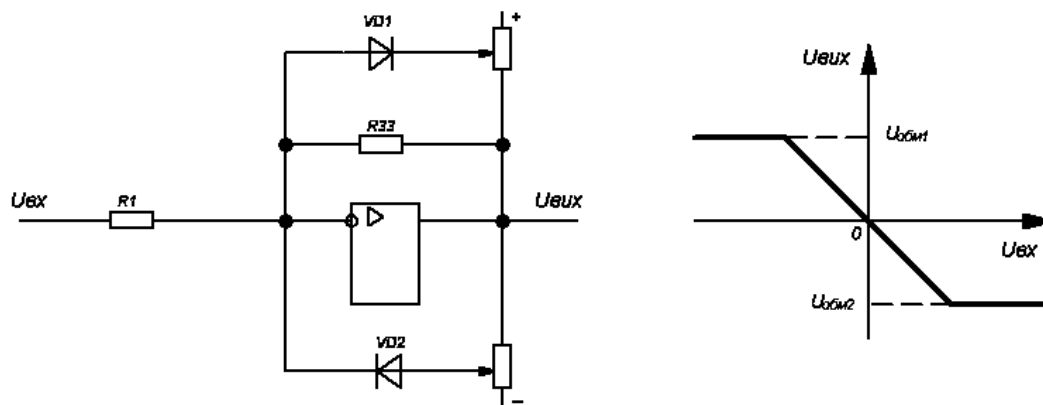


Рисунок 19 – Схема обмежувача напруги ОП з плавно регульованим рівнем обмеження (а), характеристика «вхід – вихід» (б)

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Єфремов И.С., Косарев Г.В. Теория и расчет троллейбусов (электрическое оборудование). Ч.2: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1981. – 248 с., ил.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; за ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. Я.И. Гаврилов, В.А. Мнацаканов «Вагоны метро с импульсными преобразователями». «Транспорт», М.: – 1986 г.
4. Моделирование электроприводов: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. – Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004. – 404 с.
5. Максимов А.Н. Городской электротранспорт: троллейбус. Учебник для нач. проф. образования / А.Н. Максимов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 256 с.
6. Добровольская Э.М. Электропоезда метрополитена: Учебник для нач. проф. образования. – М.: ИРПО: М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 320 с.
7. Преобразовательная тех. в электроприводе и электрическом транспорте: Тематический сб./ ред.: И.С. Ефремов. и В.А. Лабунцов. – М. 1980 – 140 с. Ил. – /труды / мош. Энергетич. ин.-т
8. Ю.С. Фролов, Д.М. Голицынский, А.П. Ледяев. Метрополитены. Ученик для вузов / Под ред. Ю.С. Фролова. – М.: «Желдориздат», 2001. – 528 с.
9. Я.В. Григорьевич. Автоматический расчет тиристорных схем. – Х: Вища школа. При ХГУ. 1986. – 159 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних та самостійних робіт
з дисципліни

**ТЕОРІЯ ТА РОЗРАХУНОК
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ**

(для студентів і магістрів 5 курсу всіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070203, 8.05070203 – Електричний транспорт)

Укладач **ДОНЕЦЬ** Олександр Вадимович

Відповідальний за випуск *В. Ф. Далека*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 163М, 164М

Підп. до друку 16.05.2011р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60 x 84/16
Ум. друк. арк. 2,1
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.